

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 102 14 029 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
C 03 B 37/023

②1 Aktenzeichen: 102 14 029.4
②2 Anmeldetag: 27. 3. 2002
④3 Offenlegungstag: 8. 5. 2003

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑥6 Innere Priorität:
102 13 048. 5 22. 03. 2002

⑦1 Anmelder:
Heraeus Tenevo AG, 63450 Hanau, DE

⑦4 Vertreter:
Patentanwälte Grimm & Staudt, 63075 Offenbach

⑦2 Erfinder:
Fabian, Heinz, 63762 Großostheim, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:
EP 11 29 999 A2
EP 05 98 349 A2
EP 03 09 027 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser sowie nach dem Verfahren hergestellte optische Faser

⑤7 Bei den bekannten Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser wird eine koaxiale Anordnung, umfassend einen Kernstab und ein äußeres Mantelrohr elongiert, wobei die koaxiale Anordnung in vertikaler Ausrichtung einer Heizzone zugeführt und darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich die optische Faser nach unten abgezogen wird, wobei ein zwischen Kernstab und Mantelrohr vorhandener Ringspalt kollabiert wird. Um hiervon ausgehend ein Verfahren anzugeben, das es ermöglicht, optische Fasern mit möglichst geringer Biegung kostengünstig herzustellen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, dass als Mantelrohr ein mechanisch auf Endmaß bearbeiteter Quarzglas-Zylinder mit einem Außendurchmesser von mindestens 100 mm eingesetzt wird. Eine nach dem Verfahren erhaltene optische Faser zeichnet sich dadurch aus, dass sie ohne Einwirkung von äußeren Kräften einen Krümmungsradius von mindestens 6 m einnimmt.

DE 102 14 029 A 1

DE 102 14 029 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser durch Elongieren einer coaxialen Anordnung, umfassend einen Kernstab und ein äußeres Mantelrohr, wobei die coaxiale Anordnung in vertikaler Ausrichtung einer Heizzone zugeführt und darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich die optische Faser nach unten abgezogen wird, wobei ein zwischen Kernstab und Mantelrohr vorhandener Ringspalt kollabiert.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung eine optische Faser, umfassend einen Kern und einen den Kern umhüllenden Mantel.

[0003] Der Einsatz von Lichtleitfasern zur Datenübertragung hat in den letzten 20 Jahren an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen. Nachdem die Lichtleitfasern zunächst hinsichtlich ihrer optischen Dämpfung und der Faserfestigkeit verbessert wurden, ist nunmehr die Kostensenkung zentrales Thema. Mögliche Ansatzpunkte hierfür sind die Erhöhung der Übertragungskapazität pro Lichtleiterfaser und die Senkung der Herstellkosten der Lichtleitfasern. Die Herstellung optischer Fasern erfolgt bisher üblicherweise durch Ziehen aus einer Vorform, die über ihren Querschnitt ein radiales Brechungsindexprofil aufweist, wobei das Brechungsindexprofil durch einen Kern aus Quarzglas mit einem den Brechungsindex erhöhenden Dotierstoff und einen den Kern umhüllenden Mantel mit niedrigerem Brechungsindex erzeugt wird.

[0004] Sogenannte Single-Mode-Lichtleitfaservorformen für kommerzielle Anwendungen werden im wesentlichen nach den bekannten OVD- (Outside-Vapor-Deposition), MCVD- (Modified-Chemical-Vapor-Deposition, PCVD- (Plasma-Chemical-Vapor-Deposition) und VAD- (Vapor-Axial-Deposition) -Verfahren hergestellt. Bei diesen Verfahren wird zunächst ein Kernstab hergestellt, der den Kern und einen Teil des Mantels der späteren Single-Mode-Lichtleiterfaser umfasst. Auf den Kernstab wird weiteres Quarzglas aufgebracht, das als "Jacketmaterial" bezeichnet wird. Die Qualität dieses Jacketmaterials ist für die mechanische Festigkeit der Lichtleiterfaser von Bedeutung, während der Einfluß auf die optischen Eigenschaften bisher nur eine untergeordnete Rolle spielt.

[0005] In der EP-A 1 0 309 027 wird ein Verfahren für die Herstellung einer optischen Monomode-Faser durch Ziehen aus einer großvolumigen Vorform aus Quarzglas beschrieben. Die Vorform wird durch Abscheiden von Kernmaterial an der Innenwandung eines Substratrohres hergestellt, und anschließend wird das Substratrohr unter Bildung eines Rohlings aus Kernmaterial kollabiert, und dann der Kernmaterial-Rohling nach der Stab-in-Rohr-Technik überfangen. Zum Überfangen des Kernstabs werden zwei Quarzglasrohre mit unterschiedlichen Durchmessern eingesetzt, wovon das größte einen Außendurchmesser von 52 mm und einen Innendurchmesser von 27 mm aufweist. Weiterhin wird beschrieben, daß die Verbindung von Kernmaterial-Rohling und Überfangrohr geätzt, gewaschen und getrocknet werden sollte, bevor mit einer Reinigungsbehandlung mittels Plasmaätzen unter fluorhaltiger Atmosphäre begonnen wird.

[0006] Auch aus der EP-A 598 349 ist ein Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser durch Ziehen aus einer großvolumigen Vorform unter Einsatz eines dickwandigen Quarzglas-Zylinders bekannt. Zur Herstellung des Quarzglas-Zylinders werden mehrere Verfahrensweisen vorgeschlagen. Die erste Verfahrensweise besteht aus zwei Schritten. Im ersten Verfahrensschritt wird ein zylindrischer Quarzglas-Rohling bereitgestellt. Im zweiten Schritt wird

der Rohling zur Bildung einer Mittenbohrung entweder unter Einsatz eines Kernbohrers mechanisch aufgebohrt oder er wird einem Heißstauchverfahren unterworfen, um eine Bohrung zu erzeugen. Bei der zweiten Verfahrensweise wird von einem OVD-Verfahren ausgegangen, wobei poröser SiO_2 -Soot auf einem hitzebeständigen Dormmaterial abgeschieden, das Dormmaterial anschließend entfernt, und der abgeschiedene Soot entwässert und unter Verglasen erschmolzen wird. Die dritte Verfahrensweise umfasst die Bildung eines porösen Soot-Materials direkt durch das VAD-Verfahren und das anschließende Verglasen des dehydratisierten Niederschlages durch Erschmelzen.

[0007] Aus Kostengründen wird mittlerweile mehr und mehr dazu übergegangen einen Teil des Mantels unmittelbar beim Ziehen der Faser aufzubringen. Dabei wird während des Faserziehens ein Mantelrohr auf einen sogenannten Kernstab kollabiert. Ein Ausführungsbeispiel für eine derartige Verfahrensweise, die auch dem Verfahren der eingangs genannten Gattung entspricht, und die im Folgenden als "ODD-Verfahren" (Overclad During Drawing) bezeichnet wird, ist in der EP-A 1 129 999 beschrieben. Darin wird vorgeschlagen, einen Kernstab mit einem inneren Mantelglasrohr und mit einem äußeren Mantelglasrohr gleichzeitig zu überfangen. Zur Fixierung der Kernstabs innerhalb des inneren und des äußeren Mantelglasrohres wird das äußere Mantelglasrohr im Bereich des unteren Endes mit einer Einschnürung versehen. Bei vertikal orientiertem äußerem Mantelrohr wird von oben ein Haltering in die Innenbohrung des Mantelrohres eingeführt, der einen Außendurchmesser hat, der geringfügig größer ist als der Durchmesser der Einschnürung, so dass sich der Haltering von oben auf den Bereich der Einschnürung auflegt. Bei exakt waagrechter Orientierung ergibt sich durch die Mittelbohrung des Halterings ein Anschlag für den mit einem konischen unteren Ende versehenen Kernstab, während das erste innere Mantelrohr auf dem Haltering aufliegt. Anschließend wird die coaxiale Anordnung von Mantelrohren und Kernstab in vertikaler Ausrichtung einem Ofen zugeführt und darin zonenweise erweicht und dabei miteinander verschmolzen, wobei in der Innenbohrung des äußeren Mantelrohres ein Vakuum erzeugt und aufrechterhalten wird.

[0008] Ein wesentlicher Parameter für die Beurteilung der Faserqualität ist die Faserbiegung, die eine frei bewegliche Faser ohne Einwirkung von Kräften einnimmt (im Englischen als "fiber curl" bezeichnet). Die Faserbiegung wird durch Abweichungen von der idealen Zylindersymmetrie – sei es bei der Vorform oder bei einer coaxialen Anordnung von Bauteilen nach dem ODD-Verfahren – hervorgerufen. Insbesondere eine in der Vorform oder den beim ODD-Verfahren eingesetzten Bauteilen vorgeprägte Biegung wirken sich auf die Faserbiegung aus, da beim Faserziehen eine exakte Positionierung in der Ofenmitte und damit eine homogene, zylindersymmetrische Temperaturverteilung um das zu ziehende Bauteil erschwert wird. Für qualitativ hochwertige optische Fasern wird derzeit ein Krümmungsradius ("fiber curl") von ca. 4 m erlaubt. Mittels der oben beschriebenen Verfahren ist diese Vorgabe nur bei äußerster Sorgfalt bei der Herstellung der Bauteile und äußerster Genauigkeit bei der Positionierung im Ziehofen zu erreichen. Es wäre jedoch wünschenswert, die Faserbiegung weiter zu reduzieren, insbesondere, da die Faserbiegung das Spleißen von Fasern, ganz besonders von Faserbündeln oder -bändern erschwert.

[0009] Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren anzugeben, das es ermöglicht, optische Fasern mit möglichst geringer Biegung kostengünstig herzustellen.

[0010] Weiterhin liegt der Erfindung die Aufgabe zu-

grunde, eine optische Faser anzugeben, die sich durch leichte Verarbeitung, insbesondere bei der Bildung von Faser-Spleißen, auszeichnet.

[0011] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass als Mantelrohr ein mechanisch auf Endmaß bearbeiteter Quarzglas-Zylinder mit einem Außendurchmesser von mindestens 100 mm eingesetzt wird.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich durch drei wesentliche Aspekte aus.

1. Zum einen wird ein mechanisch auf Endmaß bearbeiteter Quarzglas-Zylinder als Mantelrohr eingesetzt. Dies ist ein wesentlicher Unterschied sowohl zu den bisher bekannten ODD-Verfahren, als auch zu den bisher bekannten Ziehverfahren unter Einsatz einer Vorform.

Bisher werden beim ODD-Verfahren sogenannte "Jacket-Rohre" zum Überfangen des Kernstabs eingesetzt. Innendurchmesser und Außendurchmesser der eingesetzten "Jacket-Rohre" sind an den eingesetzten Kernstab und an die herzustellende Faser angepasst.

Die Anpassung der Geometrie an den Einsatzzweck erfolgt in einem Vertikal-Ziehverfahren, in welchem Quarzglas-Zylinder mit werkseitig standardisierten Abmessungen auf die erforderliche Jacket-Rohr-Abmessungen elongiert werden. Bei diesem Vertikalziehprozess, wie auch bei jedem anderen Heiß-Verformungsprozess, ergibt sich zwangsläufig eine Verschlechterung der geometrischen Maßhaltigkeit im Vergleich zu den eingesetzten Quarzglas-Zylindern. Denn Letztere können durch mechanische Bearbeitung, wie Bohren, Honen und Schleifen, auf eine hohe Maßhaltigkeit im Bereich von 1/100 mm gearbeitet werden.

Es hat sich gezeigt, dass Heiß-Verformungsprozesse, insbesondere auch der Vertikalziehprozess zum Herstellen von "Jacket-Rohren", auch bei geringsten Abweichungen von idealen, zylindersymmetrischen Ziehbedingungen eine Biegung des abgezogenen Bauteils bewirken. Eine durch einen Heiß-Verformungsprozess verursachte zusätzliche Biegung wird durch den erfindungsgemäßen Einsatz eines mechanisch auf Endmaß gearbeiteten Zylinders vermieden.

Auch in der EP-A 598 349 wird der Einsatz eines mechanisch auf Endmaß bearbeiteten Quarzglas-Zylinders mit hoher geometrischer Präzision vorgeschlagen, jedoch nicht, um daraus unmittelbar eine optische Faser durch Elongieren herzustellen, sondern zur Herstellung einer Vorform für optische Fasern. Jedoch, auch dieses Verfahren führt erstaunlicherweise nicht zu der gewünschten Maßhaltigkeit und geringen Biegung der Faser. Der Grund dafür liegt darin, dass der geometrisch präzise Quarzglas-Zylinder in einem Zwischenschritt auf den Kernstab aufkollabiert wird, um daraus eine Vorform zu erhalten, aus der anschließend die optische Faser gezogen wird. Der Heißverformungsschritt des Kollabierens des Quarzglas-Zylinders auf den Kernstab bewirkt jedoch ebenso – wie oben für den Vertikalziehprozess beschrieben – eine Biegung des so hergestellten Bauteils, hier also der Vorform. Biegungen werden zwangsläufig durch jede geometrische Toleranz der Ziehvorrichtung und durch Abweichungen aus der Ziehachse erzeugt. Durch einen achsstarren Abzug werden bei Biegungen des Glasstrangs hohe Kräfte durch Hebelwirkung in den Bereich der Ziehzwiebel übertragen, die eine weitere Verformung er-

zeugen können, so dass es die "Rückwirkung" des abgezogenen Teils der Vorform in die Ziehzwiebel zu einem "Aufschaukeln" einer bereits vorhandenen Biegung kommt. Eine gebogene Vorform bewirkt in jedem Fall im Faserziehhofen während des Faserziehens eine radial inhomogene Temperaturverteilung, die wiederum die Biegung der Faser verstärkt. Ebenso wird eine bereits vorhandene Maßabweichung in der Wandstärke eines Jacket-Rohres durch eine Heiß- und Ziehbearbeitung noch verstärkt, so dass sich die Abweichung dabei vergrößert.

Diese Nachteile werden bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch vermieden, dass ein mechanisch auf Endmaß bearbeiteter Quarzglas-Zylinder eingesetzt wird, der durch mechanisches Schleifen aus einem Quarzglas-Rohling erhalten wird, und nicht ein durch Elongieren erhaltenes "Jacket-Rohr" oder eine Vorform. Durch mechanische Bearbeitung (insbesondere Bohren, Honen und Schleifen) kann unter Einsatz bekannter Hon- und Schleifverfahren und dafür geeigneter handelsüblicher Vorrichtungen ein Quarzglas-Rohling mit einem Außendurchmesser von mehr als 100 mm und einer Länge von 2 m und mehr vollständig in einen geraden Zylinder mit genauem kreisförmigem Querschnitt und einer geringen Maßabweichung, im Bereich von 1/100 mm gearbeitet werden.

Unter einem mechanisch auf Endmaß gearbeiteten Zylinder im Sinne dieser Erfindung ist auch ein Zylinder, dessen Oberfläche in einer nachträglichen chemischen Behandlung (durch Ätzen) oder durch Feuerpolitur gereinigt und geglättet wird. Denn Ätzprozesse und Feuerpolitur wirken sich auf die Biegung des Quarzglas-Zylinders nicht aus.

2. Der zweite wesentliche Aspekt der Erfindung liegt darin, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einem Außendurchmesser von mindestens 100 mm eingesetzt wird. Gegenüber dem Einsatz von "Jacket-Rohren" ergeben sich durch den Einsatz großvolumiger Quarzglas-Zylinder zwei wesentliche Vorteile, nämlich ein Kostenvorteil und eine Verbesserung hinsichtlich der Maßhaltigkeit.

Der Kostenvorteil beruht auf dem größeren Volumen und der sich daraus ergebenden längeren Faserlänge, die bei einem Faser-Ziehprozess erhalten wird, so dass eine kostengünstige Massenproduktion realisiert werden kann.

Die Verbesserung hinsichtlich der Maßhaltigkeit ergibt sich dadurch, dass Abweichungen des Quarzglas-Zylinders von der idealen Zylindersymmetrie beim Faserziehen maßstäblich auf den geringeren Faserdurchmesser herunterskaliert werden, und dadurch weniger ins Gewicht fallen, als bei einer geringeren maßstäblichen Reduzierung, etwa ausgehend von einem bekannten "Jacket-Rohr" mit geringerem Außendurchmesser.

Nach der mechanischen Bearbeitung verbleibende geometrische Fehler sind durch die Genauigkeit der Werkzeuge und die messtechnischen Grenzen der Prozessführung bestimmt. Diese "Restfehler" lassen sich in ihrer Auswirkung minimieren, wenn der Quarzglas-Zylinder einen möglichst großen Wandstärke aufweist. Durch die Herabskalierung wird der in der Faser resultierende relative Fehler kleiner.

3. Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Erfindung liegt darin, dass die eingesetzten großvolumigen Quarzglas-Zylinder die herstellungsbedingt häufig geringe Maßhaltigkeit des Kernstabs auszugleichen vermögen. Der Kernstab wird zwangsläufig in einem Heißprozess erzeugt und weist somit stets eine gewisse

Abweichung von der Idealgeometrie auf. Eine nachträgliche mechanische Bearbeitung des Kernstabs würde lediglich zu einer Veränderung des Verhältnisses von Mantel und Kernmaterial und zu Kontaminationen führen und ist daher nicht sinnvoll. Der Einfluß der geometrischen Kernstab-Fehler lässt sich minimieren, indem der Quarzglas-Zylinder möglichst dickwandig ausgebildet und damit der relative Fehlerbeitrag des Kernstabs reduziert wird.

[0013] Das erfindungsgemäße Verfahren schließt nicht aus, dass der Kernstab zusätzlich zu den mechanisch auf Endmaß bearbeiteten Quarzglas-Zylinder n mit weiteren Mantelrohren überfangen wird, wobei dies aus den oben beschriebenen Gründen vorzugsweise Mantelrohre sind, die mechanisch auf Endmaß bearbeitet wurden.

[0014] Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0015] Je größer der Außendurchmesser des Quarzglas-Zylinders und je kleiner der Innendurchmesser ist, um so größer ist das durch den Quarzglas-Zylinder bereitgestellte Quarzglas-Volumen und um so günstiger wirkt sich das Verfahren hinsichtlich der Produktionskosten bezogen auf den Faserkilometer und hinsichtlich der Maßhaltigkeit der daraus erhaltenen Faser aus.

[0016] Hierbei spielt auch die Wandstärke des Quarzglas-Zylinders eine wesentliche Rolle. Vorzugsweise werden Quarzglas-Zylinder und Kernstab eingesetzt, bei denen das Verhältnis $CSA_{(C)}/CSA_{(R)}$ der radialen Querschnittsfläche $CSA_{(C)}$ des Quarzglas-Zylinders und der radialen Querschnittsfläche $CSA_{(R)}$ des Kernstabs im Bereich zwischen 5 und 100, vorzugsweise zwischen 10 und 80 liegt. Je größer die Wandstärke des Quarzglas-Zylinders ist, um so präziser kann eine optische Faser gefertigt werden, da mit zunehmender Wandstärke des Zylinders absolute Geometriefehler (die unabhängig von der Wandstärke und dem Außendurchmesser des Quarzglas-Zylinders sind) beim Faserziehen stärker herunterskaliert werden. Der Außendurchmesser des Quarzglas-Zylinder beträgt mindestens 100 mm.

[0017] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht einen Einsatz von Quarzglas-Zylindern mit einer Länge von mindestens 2 m, vorzugsweise mit einer Länge von mindestens 3 m. Der Einsatz eines möglichst langen Quarzglas-Zylinders, der sich auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens günstig auswirkt, wird erst durch die mechanische Endbearbeitung ermöglicht. Denn bei Quarzglas-Rohren, die nicht mechanisch endbearbeitet sind, sondern ihre Endmaße durch einen Heißverformungsschritt erhalten haben, ergibt sich stets eine gewisse Durchbiegung: Diese erschwert das Einführen eines Kernstabs, so dass bei gleichem Außendurchmesser des Kernstabs eine zunehmender Länge des Rohres eine Vergrößerung des Innendurchmessers erforderlich macht, um die vorhandene Durchbiegung zu berücksichtigen. Damit geht mit der Länge des Zylinders eine Zunahme der Breite des Spalts zwischen Kernstab und Innenwandung des Rohres einher, die beim Aufkollabieren des Rohres zu Geometrieabweichungen führt. Insoweit wirkt sich das erfindungsgemäße Verfahren auch hinsichtlich einer Verbesserung der Maßhaltigkeit bei besonders langen Quarzglas-Zylindern aus.

[0018] Die eingesetzten Quarzglas-Zylinder weisen vorzugsweise eine Biegung von maximal 0,3 mm pro Längenmeter, vorzugsweise eine Biegung von maximal 0,1 mm pro Längenmeter, und besonders bevorzugt eine Biegung von maximal 0,05 mm pro Längenmeter, auf. Ihre Wanddickenabweichung beträgt maximal 0,3 mm pro Längenmeter, vorzugsweise beträgt die Wanddickenabweichung maximal 0,1 mm pro Längenmeter, und besonders bevorzugt maxi-

mal 0,05 mm pro Längenmeter. Die Ovalität des Quarzglas-Zylinders liegt bei maximal 0,3 mm pro Längenmeter, vorzugsweise bei maximal 0,1 mm pro Längenmeter, und besonders bevorzugt beträgt die Ovalität maximal 0,05 mm pro Längenmeter.

[0019] Der eingesetzte Quarzglas-Zylinder wird vorzugsweise aus porösem Sootmaterial hergestellt. Poröses Sootmaterial ermöglicht eine nachträgliche Reinigung, Dehydratation und Dotierung, so dass Glaseigenschaften, wie die OH-Gruppenkonzentration und der Brechungsindex eingestellt und den Anforderungen an den einzusetzenden Kernstab angepasst werden können.

[0020] Als besonders geeignet sich es sich erweisen, den Quarzglas-Zylinder nach dem sogenannten OVD-Verfahren herzustellen. Bei diesem Außenabscheideverfahren wird ein rohrförmiger Körper erhalten, der herstellungsbedingt eine exakte Innenbohrung aufweist, die nach dem Verglasen lediglich noch einer geringen mechanischen Endbearbeitung bedarf.

[0021] Hinsichtlich der optischen Faser wird die oben angegebene technische Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Faser ohne Einwirkung von Kräften einen Krümmungsradius von mindestens 6 m einnimmt.

[0022] Eine Faser, bei der sich bei freier Krümmung – das heißt, ohne Einwirkung von äußeren Kräften auf die Faser – ein Krümmungsradius von 6 m und mehr ergibt, vereinfacht insbesondere die Herstellung von Spleißen. Die Herstellung einer derartigen Faser erfolgt nach dem oben beschriebenen Verfahren.

[0023] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher beschrieben.

[0024] Es wurden optische Fasern nach dem ODD-Verfahren durch Überfangen eines Kernstabs mit einem Quarzglas-Zylinder beim Faserziehen hergestellt. Die Fasern weisen einen Kernbereich auf, der von einer inneren Mantelglasschicht und einer äußeren Mantelglasschicht umgeben ist. Der Kernbereich besteht aus Quarzglas, das homogen mit 5 Gew.-% Germaniumdioxid dotiert ist. Die Mantelglasschichten bestehen aus undotiertem Quarzglas, von dem ein Teil durch den Mantel des Kernstabs und ein Teil durch einen mechanisch bearbeiteten Quarzglas-Zylinder bereitgestellt wird.

Beispiel 1

[0025] Nachfolgend wird zunächst die Herstellung des Quarzglas-Zylinders anhand eines ersten Ausführungsbeispiels näher erläutert:

[0026] Nach dem VAD-Verfahren wurde ein großvolumiger, poröser Sootkörper mittels Flammenhydrolyse von $SiCl_4$ in einem Knallgasbrenner und Abscheiden der gebildeten SiO_2 -Sootpartikel auf einem rotierenden Quarzstab hergestellt. Der Sootkörper wurde in einem Gasgemisch aus He und Cl_2 dehydratisiert, und anschließend in einem Zonenschmelzprozeß bei 1550°C verglast. Auf diese Art und Weise wurde ein großer zylindrischer Quarzglasblock erhalten.

[0027] Die Außenfläche des Quarzglasblocks wurde mittels eines Umfangsschleifers mit einem #80 Schleifstein auf die gewünschte Außenabmessung abgeschliffen, und anschließend wurde der Innenbereich des Quarzglasblocks mittels eines Kernbohrers aufgebohrt, der ebenfalls mit einem #80 Schleifstein bestückt war. Auf diese Art und Weise wurde ein Rohr aus synthetischem Quarzglas mit einem Außendurchmesser von 121 mm und einem Innendurchmesser von 30 mm und einer Länge von 1500 mm erhalten.

[0028] Zwecks einer hochpräzisen Endbearbeitung wurde die Innenwandung des Rohres mittels einer Honmaschine

nachbearbeitet, wodurch eine in Längsachsenrichtung verlaufende, gerade Bohrung mit einem genau kreisförmigen Querschnitt erhalten wurde. Das Rohr wurde poliert, wobei die Endbearbeitung mittels eines Schleifmittels der Feinheitstufe #800 erfolgte. Die Außenbereiche des Rohres wurden dann unter Einsatz eines NC-Umfangsschleifers derart geschliffen, daß die Mittelachse des Außendurchmessers mit der des Innendurchmessers übereinstimmte. Nachdem gewährleistet war, dass der Zylinder auf die Soll-Wandstärke mit einer Toleranz von 2% bearbeitet war, erfolgte die Endbearbeitung der Außenbereiche mit #140. Das Rohr wurde dann in einem Flußsäure-Bad, dessen Konzentration zwischen 5% und 30% lag, geätzt, um Oberflächenspannungen abzubauen und um Beschädigungen durch die Oberflächenbearbeitung zu entfernen.

[0029] Der so erhaltene, vorbehandelte Zylinder (Probe 1 in Tabelle 1) hatte einen Außendurchmesser von 120 mm, einen Innendurchmesser von 16 mm und eine Länge von 2500 mm. Die Maßabweichung ΔD in der Wandstärke ($D_{\max} - D_{\min}$) betrug maximal 0,05 mm, die Biegung betrug 0,05 mm/Längeneinheit und für die Ovalität wurde maximal 0,04 mm gemessen. Weiterhin wurde die Oberfläche auf Rauigkeit untersucht, indem ein Rauigkeitsmeßgerät über eine Strecke von 8 mm in Richtung der Längsachse geführt wurde, wobei für die innere Oberfläche ein Wert R_{\max} von 4,8 μm und für die äußere Oberfläche von 53 μm gefunden wurde.

[0030] Außerdem wurde ein sogenannter Kernstab nach dem OVD-Verfahren hergestellt. Hierzu wurden auf einem um seine Längsachse rotierenden Träger durch Hin- und Herbewegung eines Abscheidebrenners schichtweise Sootartikel abgeschieden, wobei dem Abscheidebrenner SiCl_4 und GeCl_4 zugeführt und in einer Brennerflamme in Gegenwart von Sauerstoff zu SiO_2 und GeO_2 hydrolysiert wurden. Das Verhältnis an SiCl_4 und GeCl_4 wurde bei der Abscheidung der inneren Schichten so eingestellt, dass sich über diesem Teil der Wandstärke des Sootrohrs eine vorgegebene homogene GeO_2 -Konzentration von 5 mol-% ergab. Sobald die Soot-Schichten abgeschieden waren, die den Kernbereich des Kernstabs bilden, wurde die Zufuhr von GeCl_4 zum Abscheidebrenner gestoppt und es wurde eine erste, innere Mantelglasschicht aus undotiertem SiO_2 auf dem Kernbereich abgeschieden.

[0031] Nach Beendigung des Abscheideverfahrens und Entfernen des Trägers wurde ein Sootrohr erhalten, das zum Entfernen der herstellungsbedingt eingebrachten Hydroxylgruppen einer Dehydratationsbehandlung unterworfen wurde. Hierzu wurde das Sootrohr in vertikaler Ausrichtung in einen Dehydratationsofen eingebracht und zunächst bei einer Temperatur im Bereich von 800°C bis etwa 1000°C in einer chlorhaltigen Atmosphäre behandelt. Die Behandlungsdauer betrug etwa sechs Stunden. Dadurch wurde eine Hydroxylgruppenkonzentration von weniger als 100 Gew.-ppb erreicht.

[0032] Das so behandelte Sootrohr wurde in einem Verglasungssofen bei einer Temperatur im Bereich um 1350°C verglast und dabei die Innenbohrung kollabiert, so dass ein Kernstab mit dem gewünschten Brechzahlprofil erhalten wurde. Auf diese Art und Weise wurden zwei Kernstäbe hergestellt, deren Außendurchmesser und Kerndurchmesser sich aus Tabelle 1 ergeben (Probe Nr. 1 und Probe Nr. 2).

[0033] Die Kernstäbe wiesen einen über den radialen Querschnitt homogenen OH-Gehalt von 0,004 Gew.-ppm auf.

[0034] In der herzustellenden optischen Faser mit einem Außendurchmesser von 125 μm bilden die Kernstäbe gemäß Tabelle 1 jeweils einen Kernbereich mit einem Durchmesser von ca. 8,5 μm .

Tabelle 1

Probe Nr.	Quarzglas-Zylinder					Kernstab	
	Außen- Φ (mm)	Innen- Φ (mm)	Biegung [mm/m]	Ovalität [mm]	ΔD [mm]	Außen- Φ (mm)	Kern- Φ (mm)
1	120	16	0,05	0,04	0,05	14	8,3
2	150	22	0,06	0,05	0,06	20	10,3
3	200	50	0,08	0,07	0,07	48	13,8
4	180	60	0,07	0,06	0,08	58	12,4

[0035] Weiteres Mantelmaterial für die Ausbildung äußerer Mantelglasschichten der Faser wurden erfindungsgemäß in Form eines Quarzglas-Zylinders bereitgestellt, der jedoch erst beim Faserziehen in einem ODD-Verfahren auf den Kernstab aufkollabiert wurde.

[0036] Zur Herstellung einer Faser wurde der Kernglasstab (Länge: 2450 mm) in den Quarzglas-Zylinder eingesetzt und darin so fixiert, daß seine Mittelachse mit derjenigen des Zylinders übereinstimmte. Die beiden Enden des so erhaltenen Verbundes wurden mit einem Quarzglashalter verbunden und der Verbund wurde in einen vertikal orientierten, elektrisch beheizten Faserziehofen von der Oberseite her eingeführt und mit dem unteren Ende beginnend bei einer Temperatur um 2180°C zonenweise erweicht, und aus dem erweichten Bereich wurde eine Faser mit einem Außendurchmesser von 125 μm abgezogen. Dabei wurde in dem zwischen Kernstab und Quarzglas-Zylinder verbleibenden Spalt von etwa 1 mm ein Unterdruck im Bereich zwischen 200 mm und 1000 mmAq aufrechterhalten. Es wurde besonders darauf geachtet, dass der Verbund exakt in der Ofenmitte zentriert ist und dass sich innerhalb des Ziehofens eine zylindersymmetrische Temperaturverteilung einstellt.

[0037] Die so erhaltene optische Faser mit einem Durchmesser von 125 μm erwies sich als Faser hoher Qualität, mit der eine cut-off Wellenlänge λ_c von 1,245 μm , eine optische Dämpfung von 0,334 dB/km bei einer Wellenlänge von 1,3 μm und eine Kernexzentrizität von 0,12 μm erreicht werden konnte. Sie zeigte außerdem ein geringes "fiber curl" mit einem Radius von 5,5 m.

Beispiel 2

[0038] Es wurde ein großer, poröser Sootkörper durch Außenabscheidung anhand eines üblichen OVD-Verfahrens analog zu der oben beschriebenen Herstellung des Kernstabs, jedoch ohne Zusatz eines Dotierstoffs hergestellt. Nach dem Entfernen des Trägers wurde ein Sootrohr erhalten, das der oben beschriebenen Dehydratationsbehandlung unterzogen und anschließend verglast wurde. Die beiden Endbereiche des so hergestellten rohrförmigen Quarzglas-Rohlings aus synthetischem Quarzglas wurden abgeschnitten und die Außenwandung wurde mittels Umfangsschleifer, der mit einem #80 Schleifstein bestückt war, grob geschliffen, wodurch der vorgegebene Soll-Außendurchmesser im wesentlichen erhalten wurde. Die innere Oberfläche des so erhaltenen Rohres wurde insgesamt mittels einer Honmaschine, die mit einem #80 Schleifstein bestückt war, poliert. Der Politurgrad wurde fortlaufend verfeinert, indem die Schleifsteine ausgewechselt wurden, wobei die Endbehandlung mit einem #800 Schleifstein erfolgte.

[0039] Daraufhin wurde das so bearbeitete Rohr auf Abweichungen in der Wandstärke untersucht, indem ein Ultraschall-Dickenmeßgerät über eine Strecke von 50 mm in Richtung der Längsachse geführt wurde, wobei acht um den

Umfang verteilte Meßpunkte erhalten wurden. Die Außenfläche des Rohres wurde dann mittels eines NC-Umfangsschleifers geschliffen. Nachdem sichergestellt war, dass das Rohr auf eine Wandstärke innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereiches gefertigt war, wurde das Rohr in einer Flußsäure-haltigen Ätzlösung kurz geätzt.

[0040] Es wurde so ein großvolumiger Zylinder aus synthetischem Quarzglas mit einem Außendurchmesser von 150 mm und einem Innendurchmesser von 22 mm mit einer maximalen Abweichung in der Wandstärke ΔD von 60 μm erhalten. Die Biegung betrug 0,06 mm/Längenmeter und für die Ovalität wurde maximal 0,05 mm gemessen. Es zeigte sich, daß die Oberflächenrauigkeit R_{max} dieses vorbehandelten Rohres für die innere Oberfläche 3,5 μm , und für die äußere Oberfläche 77 μm betrug (Probe Nr. 2 in Tabelle 1).

[0041] In den so erhaltenen Quarzglas-Zylinder wurde der Kernstab gemäß Probe Nr. 2 von Tabelle 1 eingesetzt und darin fixiert. Der Kernstab hatte eine Länge von 2450 mm. Der so entstandene Verbund wurde dann in einem vertikal orientierten, elektrisch beheizten Faserziehofen auf eine Temperatur im Bereich zwischen 2000°C und 2400°C erhitzt, wobei er vom unteren Ende her aufgeschmolzen und erweicht und aus dem erweichten Bereich eine optische Faser mit einem Außendurchmesser von 125 $\mu\text{m} \pm 4,5 \mu\text{m}$ abgezogen. Im Ringspalt zwischen Kernstab und Quarzglas-Zylinder (1 mm) wurde dabei ein Vakuum im Bereich zwischen 200 mmAq und 1000 mmAq aufrecht erhalten.

[0042] Die so erhaltene optische Faser erwies sich als Faser hoher Qualität: mit einer Exzentrizität des Faserkerns bei maximal 0,11 μm , mit einer cut-off Wellenlänge I_c von 1,270 μm , einer optischen Dämpfung von 0,338 dB/km bei einer Wellenlänge von 1,3 μm , wobei die Dämpfung durch OH-Gruppen bei einer Wellenlänge von 1,38 μm bei 0,65 dB/km lag. Sie zeigte außerdem ein geringes "fiber curl" mit einem Radius von 6,1 m.

Beispiel 3

[0043] Ein großer, poröser Sootkörper, der durch Außenabscheidung aus der Dampfphase (OVD) hergestellt worden war, wurde in der gleichen Art und Weise wie in Beispiel 2 hergestellt, dehydratisiert, einer Behandlung zur Einstellung des Brechungsindex unterzogen und verglast, wobei ein Zylinder aus synthetischem Quarzglas erhalten wurde. Die innere und die äußere Wandung des so erhaltenen Quarzglas-Zylinders wurden mechanisch geschliffen, wie dies oben anhand Beispiel 1 erläutert ist.

[0044] Hierbei wurde der Innendurchmesser des erhaltenen Zylinders mittels einer hochpräzisen Honmaschine auf einen Wert von 50 mm bearbeitet, und die Außenwandung wurde auf einen Außendurchmesser von 200 mm abgeschliffen (Probe Nr. 3 in Tabelle 1). Die Wandstärke des so erhaltenen großvolumigen Zylinders aus Quarzglas wies über die gesamte Länge von 3500 mm eine maximale Abweichung von 0,07 mm auf. Die Biegung betrug 0,08 mm/Längenmeter und für die Ovalität wurde maximal 0,07 mm gemessen. Es zeigte sich, daß die Oberflächenrauigkeit R_{max} dieses vorbehandelten Rohres für die innere Oberfläche 3,5 μm , und für die äußere Oberfläche 77 μm betrug.

[0045] Weiterhin wurde ein Kernstab entsprechend dem in Beispiel 1 beschriebenen Verfahren (Außendurchmesser = 20 mm) hergestellt. Um diesem zusätzliches Mantelmaterial bis zu einem Außendurchmesser von 48 mm hinzuzufügen, wurde auf den Kernstab ein Mantelrohr aufkollabiert. Das Mantelrohr wurde durch Flammenhydrolyse von SiCl_4 unter Bildung von SiO_2 -Partikeln und axialer Abscheidung der SiO_2 -Partikel auf einem rotierenden Dorn hergestellt. Vor dem Sintern wurde das aus undotiertem, porösen Quarzglas

bestehende Mantelrohr in chlorhaltiger Atmosphäre getrocknet. Nach dem Sintern hatte das Mantelrohr einen Innendurchmesser von etwa 22 mm und einen Außendurchmesser von etwa 49 mm, und es wies einen mittleren, über die Wandstärke des Mantelrohres homogenen OH-Gehalt von 0,05 Gew.-ppm auf. Das Mantelrohr wurde anschließend mechanisch auf Endmaß bearbeitet und dann auf den Kernstab aufkollabiert. Hierzu wurde der Kernstab coaxial innerhalb des Mantelrohres angeordnet und in chlorhaltiger Atmosphäre bei einer Temperatur von etwa 1000°C wurden die den Ringspalt zwischen Kernstab und Mantelrohr begrenzenden Oberflächen gereinigt und dehydratisiert. Im Anschluß daran wurde das Mantelrohr auf den Kernstab aufgeschmolzen, indem die Anordnung in einem elektrisch beheizten Ofen auf eine Temperatur von 2150°C (Ofentemperatur) zonenweise erhitzt wurde, so dass ein Kernstab mit den in Tabelle 1 für die Probe Nr. 3 angegebenen Abmessungen erhalten wurde.

[0046] Nach dem Aufkollabieren bildet das Mantelrohr eine zweite, äußere Mantelglasschicht auf dem Kernstab. Der so erhaltene Quarzglasstab stellt in der späteren Lichtleitfaser den Faserkern und den zur Lichtführung beitragenden Mantel (das sogenannte "optische Cladding"). Die Kernglaszone ist von einem Mantel aus undotiertem Quarzglas mit einem Brechungsindex " n_{M1} " von typischerweise 1,4585 umgeben. Der Mantel wird von der inneren Mantelglasschicht und von der äußeren Mantelglasschicht gebildet.

[0047] Der so hergestellte Kernstab mit einer Länge von 3,3 m wurde in den Quarzglas-Zylinder gemäß Probe Nr. 3 von Tabelle 1 eingesetzt und darin fixiert. Der so entstandene Verbund wurde dann in einem vertikal orientierten, elektrisch beheizten Faserziehofen auf eine Temperatur im Bereich zwischen 2000°C und 2400°C erhitzt, wobei er vom unteren Ende her aufgeschmolzen und erweicht und aus dem erweichten Bereich eine optische Faser mit einem Außendurchmesser von 125 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$ abgezogen wurde. Im Ringspalt zwischen Kernstab und Quarzglas-Zylinder (1 mm) wurde dabei ein Vakuum im Bereich zwischen 200 mmAq und 1000 mmAq aufrecht erhalten.

[0048] Die so erhaltene optische Faser erwies sich als Faser hoher Qualität: mit einer Exzentrizität des Faserkerns bei maximal 0,10 μm , mit einer cut-off Wellenlänge I_c von 1,270 μm , einer optischen Dämpfung von 0,334 dB/km bei einer Wellenlänge von 1,3 μm . Sie zeigte außerdem ein geringes "fiber curl" mit einem Radius von 6,2 m.

Beispiel 4

[0049] In einer Abwandlung des in Beispiel 3 beschriebenen Verfahrensweise (unter Beibehaltung der dort angegebenen geometrischen Abmessungen) wurde das mechanisch auf Endmaß bearbeitete und oberflächlich geglättete Mantelrohr nicht in einem separaten Verfahrensschritt auf den Kernstab aufkollabiert, sondern es wurde in coaxialer Anordnung mit dem Zylinder und dem Kernstab in einem ODD-Prozess unmittelbar zu einer optischen Faser gezogen. [0050] Die erhaltene optische Faser erwies sich als Faser besonders hoher Qualität: mit einer Exzentrizität des Faserkerns bei maximal 0,08 μm , mit einer cut-off Wellenlänge I_c von 1,270 μm , einer optischen Dämpfung von 0,330 dB/km bei einer Wellenlänge von 1,3 μm . Sie zeigte außerdem ein besonders geringes "fiber curl" mit einem Radius von 6,8 m.

Beispiel 5

[0051] Es wurde ein großvolumiger, poröser Sootkörper gemäß dem Verfahren nach Beispiel 3 und mit den in Tabelle 1 für Probe Nr. 4 genannten Abmessungen hergestellt.

Die innere und die äußere Wandung des Quarzglas-Zylinders wurden mechanisch geschliffen, wie dies oben anhand Beispiel 1 erläutert ist.

[0052] Die Wandstärke des so erhaltenen großvolumigen Zylinders aus Quarzglas wies über die gesamte Länge von 3000 mm eine maximale Abweichung von 0,08 mm auf. Die Biegung betrug 0,07 mm/Längenmeter und für die Ovalität wurde maximal 0,06 mm gemessen.

[0053] Weiterhin wurde ein Kernstab entsprechend dem in Beispiel 1 beschriebenen Verfahren mit einem Außendurchmesser von 58 mm und einem Kerndurchmesser von 12,4 mm und einer Länge von 2,9 m hergestellt und in den Quarzglas-Zylinder gemäß Probe Nr. 4 von Tabelle 1 eingesetzt und darin fixiert.

[0054] Der so entstandene Verbund wurde dann in einem vertikal orientierten, elektrisch beheizten Faserziehofen auf eine Temperatur im Bereich zwischen 2000°C und 2400°C erhitzt, wobei er vom unteren Ende her aufgeschmolzen und erweicht und aus dem erweichten Bereich eine optische Faser mit einem Außendurchmesser von $125\ \mu\text{m} \pm 0,5\ \mu\text{m}$ abgezogen wurde.

[0055] Die so erhaltene optische Faser erwies sich als Faser hoher Qualität: mit einer Exzentrizität des Faserkerns bei maximal 0,10 μm , mit einer cut-off Wellenlänge λ_c von 1,270 μm , einer optischen Dämpfung von 0,334 dB/km bei einer Wellenlänge von 1,3 μm . Sie zeigte außerdem ein geringes "fiber curl" mit einem Radius von 6,0 m.

[0056] Näheres zu den im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung relevanten Verfahren und Vorrichtungen für die Herstellung von synthetischem Quarzglas für optische Fasern durch OVD-Abscheidung sind aus folgenden Druckschriften zu entnehmen: In der US-A 5,788,730 wird ein Verfahren und ein Abscheidebrenner aus Quarzglas mit einer Mitteldüse und mindestens drei Ringspaltdüsen für die Herstellung eines Sootkörpers mit homogener radialer Dichteverteilung beschrieben; in der DE-A1 197 25 955 wird der Einsatz eines Brenners für eine Einspeisung von flüssigem Glasausgangsmaterial gelehrt; und in der DE-A1 195 01 733 wird eine Vorrichtung für die gleichzeitige und gleichmäßige Gasversorgung einer Vielzahl von Abscheidebrennern unter Einsatz eines Druckausgleichsgefäßes offenbart. Zur Steigerung der Effizienz der Sootabscheidung wird in der DE-A1 196 29 170 vorgeschlagen, ein elektrostatisches Feld zwischen Abscheidebrenner und Sootkörper anzulegen; in der DE-A1 1 96 28 958 und in der DE-A1 198 27 945 werden Maßnahmen für die Homogenisierung der Sootabscheidung bei Einsatz einer oszillierend bewegten Brennerreihe angegeben. Aus der DE-A1 197 51 919 und der DE-A1 196 49 935 sind Verfahren und Vorrichtungen zur Handhabung des Sootkörpers während und nach dem Abscheideprozess bekannt; und aus US-A 5,665,132, US-A 5,738,702 und DE-A1 197 36 949 ergeben sich Maßnahmen für die Halterung des Sootkörpers beim Verglasen. Die Dotierung von Quarzglas mit Fluor und Bor wird in der EP-A 582 070 beschrieben; in der US-A 5,790,736 wird eine Lehre zur Anpassung der Viskosität von Kern- und Mantelmaterial einer Faser gegeben; und in der DE 198 52 704 geht es um ein Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser unter Einsatz dotierter Substratrohre nach dem MCVD-Verfahren. Die Nachbearbeitung eines verglasten Quarzglas-Hohlzylinders unter Einsatz eines speziellen Bohrers ist in der US-A 5,643,069 beschrieben. Die US-A 5,785,729 gibt eine Lehre zur Herstellung großvolumiger Vorformen unter Einsatz der Stab-in-Rohr-Technik; und die DE-A1 199 15 509 beschreibt einen zur Durchführung dieser Technik geeigneten Abzug. Gegenstand von EP-A1 767 149 und DE-A1 196 29 169 ist die Herstellung maßgenauer Quarzglasrohre durch ein Vertikalziehverfahren.

ren.

Patentansprüche

1. Verfahren für die Herstellung einer optischen Faser durch Elongieren einer koaxialen Anordnung, umfassend einen Kernstab und ein äußeres Mantelrohr, wobei die koaxiale Anordnung in vertikaler Ausrichtung einer Heizzone zugeführt und darin mit ihrem unteren Ende beginnend zonenweise erweicht und aus dem erweichten Bereich die optische Faser nach unten abgezogen wird, wobei ein zwischen Kernstab und Mantelrohr vorhandener Ringspalt kollabiert, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Mantelrohr ein mechanisch auf Endmaß bearbeiteter Quarzglas-Zylinder mit einem Außendurchmesser von mindestens 100 mm eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einem Außendurchmesser von mindestens 150 mm, vorzugsweise mit einem Außendurchmesser von mindestens 200 mm, eingesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einem Innendurchmesser von höchstens 70 mm, vorzugsweise 50 mm eingesetzt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einem Innendurchmesser von höchstens 40 mm, vorzugsweise mit einem Innendurchmesser höchstens 30 mm, eingesetzt wird.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder und ein Kernstab eingesetzt werden, bei denen das Verhältnis $CSA_{(C)}/CSA_{(R)}$ der radialen Querschnittsfläche $CSA_{(C)}$ des Quarzglas-Zylinders und der radialen Querschnittsfläche $CSA_{(R)}$ des Kernstabs im Bereich zwischen 5 und 100, vorzugsweise zwischen 10 und 80 liegt.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einer Länge von mindestens 2 m, vorzugsweise mit einer Länge von mindestens 3 m eingesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einer Biegung von maximal 0,3 mm pro Längenmeter, vorzugsweise mit einer Biegung von maximal 0,1 mm pro Längenmeter, und besonders bevorzugt mit einer mit einer Biegung von maximal 0,05 mm pro Längenmeter, eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einer Wanddickenabweichung von maximal 0,3 mm, vorzugsweise mit einer Wanddickenabweichung von maximal 0,1 mm, und besonders bevorzugt mit einer mit einer Wanddickenabweichung von maximal 0,05 mm, eingesetzt wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Quarzglas-Zylinder mit einer Ovalität von maximal 0,3 mm, vorzugsweise mit einer Ovalität von maximal 0,1 mm, und besonders bevorzugt mit einer mit einer Ovalität von maximal 0,05 mm, eingesetzt wird.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein nach dem OVD-Verfahren hergestellter Quarzglas-Zylinder eingesetzt wird.

11. Optische Faser, umfassend einen Kern und einen den Kern umhüllenden Mantel, dadurch gekennzeichnet, dass sie ohne Einwirkung von Kräften einen Krümmungsradius von mindestens 6 m einnimmt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65